動物行動におけるスローダイナミックス(基研短期研究会「凝縮系におけるスローダイナミックス」,研究会報告)

原, 啓明; 嶋田, 一郎

動物行動におけるスローダイナミックス

東北大工学部　原　啓明
東北大教養部　嶋田一郎

最近，高分子系，非晶質系，及び過冷却状態の液体等に見られる遅い緩和現象がスローダイナミックスとして注目を集めている[1]。 この遅い緩和現象は動物行動においても行動のフラクタル性として，数年前，嶋田によってはじめてショウジョウバエで観測された[2]。 動物行動を解析する場合，まず個体が行う神経回路網による情報処理の問題[3]を複雑な系による応答特性[4),5]として，具体的にモデル化する必要がある。

本報告では，動物行動の基本過程に関するデータに基づいて，動物行動のダイナミックスを確率過程によってモデル化する方法を述べる。 このモデル化には，従来のLangevin 方程式 (X) Fokker-Planck 方程式 (W) の枠組み (X, W) では不十分である。このため，個体の内部状態に関する方程式 (Ψ) を (X, W) に加えた新しい3つ組み (Ψ, X, W) で定式化する必要がある。

内部状態方程式(Ψ)は，行動の変位 $X(t)$をパラメターとして含み， 内部状態の時間発展方程式として，

$$\Psi(X,t+dt)=[1-\eta(t)dt]\Psi(X,t)+R(X,t)dt \tag{1}$$

で与えられるものとする。 ただし，$\Psi(X,t)$ は 内部状態が行動を発現する臨界レベルに到達するまでの状態変化 ($\eta(t)$:変化率) を表しす。 $R(X,t)$ は Intrinsic なガウス揺らぎである。 変化率 $\eta(t)$の関数形は，たとえば 単一ニューロンによるデータ[6]等からも決定されるであろう。 また，変位に関する観測データはスケール則を満たす事実(図1参照)を考慮して，$X(t)$ ($\equiv X_0(t)$) には，スケール過程を仮定する：

$$\tilde{X}(t)=\sum_{n=0}^{\infty}X_n(t) \tag{2}$$

各 $X_n(t)$ ($n=1,2,3,..$) はスケール則を満たし，

$$\sqrt{\frac{a}{b}}\ X_{n-1}(bt)=X_n(t) \qquad (3)$$
$$(\ a < b < 1\ )$$

a, b はスケール因子である[4),7)]。 また，各スケール次数における変位の時間発展式 (X)は次の方程式系

$$X_n(t+\delta t)=[1-<\Psi_n(X_n, t)>_R \delta t]X_n(t)+N_n(t)\delta t \qquad (4)$$

で与えられるものとする。

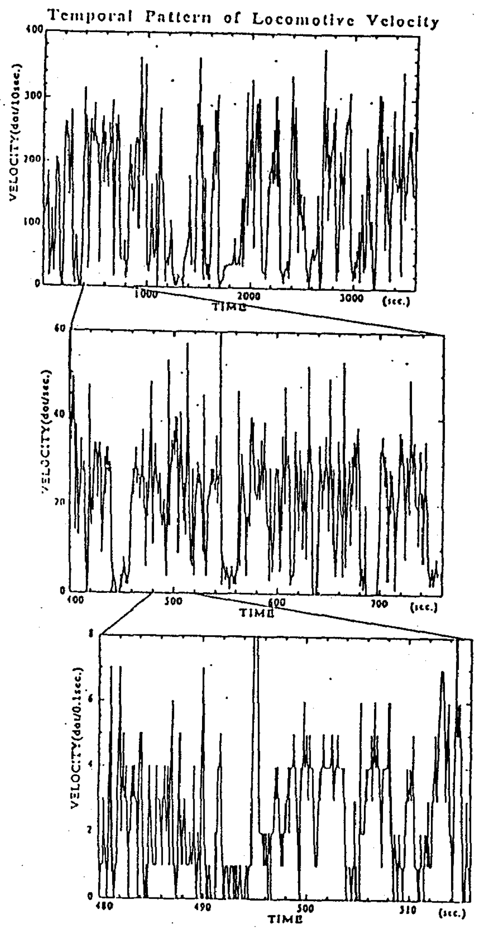

図１　スケール則を満たす移動速度

また，X_n に関するスケール則は，X_n の変化率が局所的な平均された量＜ $\Psi_n(X_n, t)>_R$で規定されるように導入されている。 N_nは Extrinsic な環境によるガウス揺らぎである。 図1はショウジョウバエの移動速度で観測された結果である。

式 (2)-(4)で規定された $\tilde{X}(t)$を用いて，$\tilde{X}(t)$ の相関関数 $C(\tau)$を計算すれば，$\tilde{X}(t)$と同様，$C(\tau)$もスケール則を満たす結果を与える。 これは図1に示した移動速度の相関関数で観測された結果（図2 (a)参照）と一致する。

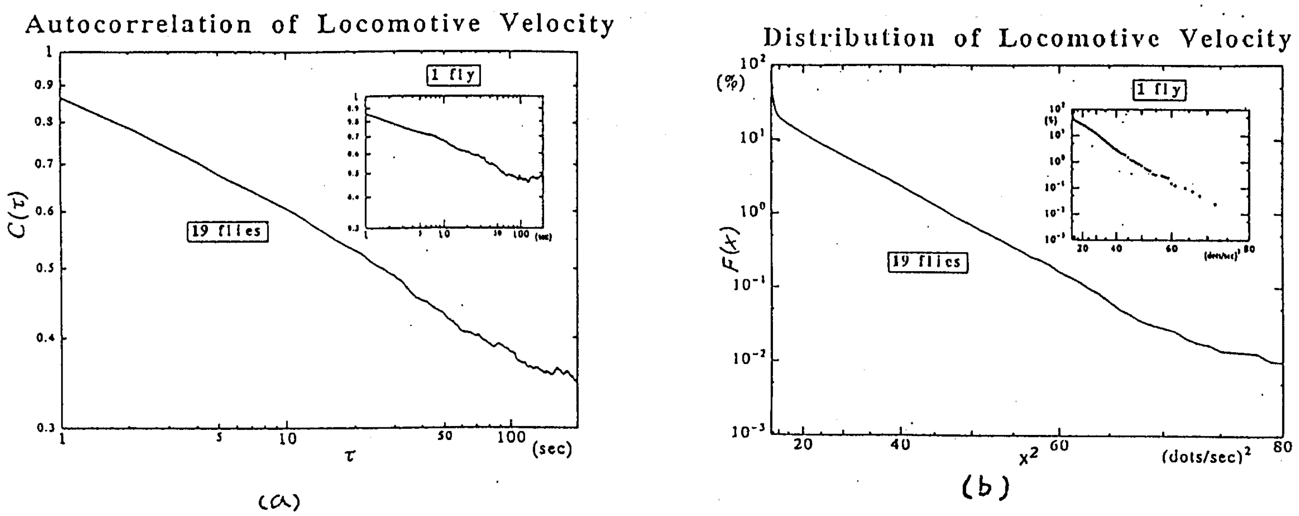

図2 (a) 移動速度の自己相関関数 (b) 移動速度の分布関数

最後に，$X(t)$が 時刻 t で数値 x をとる確率密度関数 $W(x,t)$ の時間発展方程式を次のFokker-Planck 方程式 (W)

$$\frac{\partial W(x,t)}{\partial t} = \tilde{L}_{FP} W(x,t) \tag{5}$$

で規定する。 $\tilde{L}_{FP}$ は Fokker-Planck 演算子である。

特に，$<\Psi(x,0)>_R = \Phi_0 : const.$ で規定された定常状態では

$$W_{st}(x) = const. e^{-\frac{\Phi_0}{\sigma_N} x^2} \tag{6}$$

となる。ここで，σ_N は環境によるガウス揺らぎの分散値である。区間 (x,∞) の積分で定義された関数 $F(x)$ は $const.\sqrt{\frac{\sigma_N}{\Phi_0}}erfc(x\sqrt{\frac{\Phi_0}{\sigma_N}})$ となる。この漸近形はガウス分布で与えられる。この結果は図2 (b)で示した観測の結果と一致する。

我々のモデルの枠組み (Ψ, X, W) によれば，W_{st} は Extrinsic な環境の揺らぎの分散値 σ_Nと Intrinsic な揺らぎの平均値 $<\Psi(x,0)>_R$に依存する。この定式化による特性を検証するためにこれまでのデータの再整理や今後の実験を現在計画中である。

参考文献

1) SLOW DYNAMICS IN CONDENSED MATTER Proceedings of the 1st Tohwa University symposium (editors; K.Kawasaki, T.Kawakatu, and M.Tokuyama), Fukuoka, Japan 1991

2) 嶋田一郎:動物のフラクタル行動 「生物におけるフラクタル」（松下編） 朝倉書店1992
I. Shimada, Y. Kawazoe and H.Hara: (in press)

3) 原　啓明；数理科学 264 (1985), 35
原　啓明：MBE(電子情報通信学会予講集)85-87 (1986) 59; MBE 87-122 (1988) 151; MBE 89-34 (1989) 47
原　啓明：神経回路網の物理 「新しい物性」（石原，和達編）共立出版 1990

4) H.Hara, O.K.Chung and J.Koyama; Phys.Rev. B.46 (1992) 838

5) 原　啓明，小山順二：統計数理（受理）

6) 山本光璋 :医器学 59 (1989) 109
山本光璋 :特別講演，合同シンポジュウム，仙台 ，1992，9 月

7) J.Koyama, H.Hara: Phys.Rev. A46 (1992) 1849